

## 1-甲基环丙烯(1-MCP)对油桃果实软化的影响

王俊宁<sup>1,\*</sup> 饶景萍<sup>2</sup> 任小林<sup>2</sup> 弓德强<sup>3</sup> 朱东兴<sup>4</sup>

<sup>1</sup>湛江海洋大学农学院, 湛江 524088; <sup>2</sup>西北农林科技大学园艺学院, 杨凌 712100; <sup>3</sup>亚热带作物研究所, 湛江 524091; <sup>4</sup>常熟理工学院生物科学与工程系, 常熟 215500

**提要** 1-甲基环丙烯(1-MCP)可延缓油桃果实硬度的下降, 阻止引起果实软化的细胞物质(淀粉、纤维素、果胶)的降解, 抑制与果实软化相关的酶(淀粉酶、纤维素酶、多聚半乳糖醛酸酶)活性。

**关键词** 油桃果实; 1-甲基环丙烯(1-MCP); 软化

## Effect of 1-Methylcyclopropene(1-MCP) on Softening of Nectarine(*Prunus persica* var. *nectarina* Maxim cv. Qinguang)

WANG Jun-Ning<sup>1,\*</sup>, RAO Jing-Ping<sup>2</sup>, REN Xiao-Lin<sup>2</sup>, GONG De-Qiang<sup>3</sup>, ZHU Dong-Xing<sup>4</sup>

<sup>1</sup>College of Agriculture, Zhanjiang Ocean University, Zhanjiang 524088; <sup>2</sup>College of Horticulture, Northwest Sci-Tech Agricultural and Forestry University, Yangling 712100; <sup>3</sup>Research Institute of Southern Subtropical Crops, Zhanjiang 524091; <sup>4</sup>Department of Biology and Engineering, Changshu College of Technology, Changshu 215500

**Abstract** Nectarine(*Prunus persica* var. *nectarina* Maxim cv. Qinguang) was used to investigate the effect of 1-methylcyclopropene(1-MCP, an inhibitor of ethylene) on softening of nectarine during fruit ripening. The results showed that 1-MCP could delay the loss of fruit firmness, retard the hydrolyses of starch, cellulose and pectin. It inhibited the activities of amylase, cellulase and polygalacturonase relating to fruit softening.

**Key words** nectarine(*Prunus persica* var. *nectarina* Maxim cv. Qinguang); 1-methylcyclopropene(1-MCP); softening

果实成熟是果实色泽、质地、风味、呼吸、乙烯等代谢变化高度协调的遗传调控过程。果实质地直接影响果实品质和果实的商品性, 也是果实采收和贮藏过程中品质评估的重要指标。果实质地的变化直接表现为果实的后熟软化和硬度的下降。业已确认, 细胞壁是细胞的支撑物, 只有胞壁结构改变、胞壁成分发生降解才能导致果实软化。而这些成分的降解与一些水解酶, 如淀粉酶(amylase)、纤维素酶(cellulase)、多聚半乳糖醛酸酶(polygalacturonase, PG)等活性有关。另外, 也已查明, 1-甲基环丙烯(1-methylcyclopropene, 1-MCP)与果蔬组织中的乙烯受体发生不可逆性结合后, 可阻止乙烯与受体的结合, 从而抑制乙烯的催熟作用。目前, 关于1-MCP处理能有效维持果实硬度的报道较多, 认为1-MCP可以延缓苹果、猕猴桃、杏、桃和香蕉贮藏期间的硬度下降<sup>[1~5]</sup>。但是有关1-MCP对果实后熟软化影响机制的报道却很少。我们以油桃品种“秦光”为材料, 检测1-MCP对引起果实软化的相关成分和有

关酶活性的影响, 并探讨其在果实成熟衰老过程中的作用, 从而为1-MCP在果实贮藏中的应用提供参考。

### 材料与方法

油桃品种“秦光”(*Prunus persica* var. *nectarina* Maxim cv. Qinguang)于2001年6月30日采自陕西杨凌一个五至六年生油桃园, 并于当天运回实验室。选择果型端正、成熟度一致、发育良好、中等大小、无病虫害及机械伤的果实, 先用200 mg·kg<sup>-1</sup>的多菌灵杀菌剂浸泡5 min, 取出晾干, 然后用0.5 mg·L<sup>-1</sup>的1-MCP在密闭的条件下熏蒸16 h, 未作处理的果实用同样的方法进行防腐处理后密封16 h。每处理15 kg, 设3个重复。处理完毕后通风0.5 h, 并置于常温下贮

收稿 2004-07-07 修定 2004-12-07

资助 国家自然科学基金(30170662)。

\*E-mail: wangjunningb@sohu.com, Tel: 0759-2383247

藏。每隔1 d测定各种生理指标。

将6个果实从缝合线两侧去皮,用GY-1型果实硬度计测定果实硬度;淀粉含量和纤维素含量测定参考DNS法<sup>[6]</sup>;随机取6个果实,称取10 g果肉,按文献7的方法提取可溶性果胶和原果胶,再用咔唑比色法测定;纤维素酶活性测定参照文献8的方法,PG活性测定参考文献9的方法,淀粉酶测定参考文献10的方法,以上3种酶均以产生葡萄糖 $1\text{ mg}\cdot\text{h}^{-1}$ 为1个活性单位。

## 实验结果

### 1 1-MCP对油桃果实硬度的影响

根据图1结果,油桃采后贮藏过程中硬度下降可分为两个阶段。贮藏后前4 d,果实硬度下降缓慢,平均每天下降 $0.68\text{ kg}\cdot\text{cm}^{-2}$ 。1-MCP处理后果实硬度下降减慢,平均每天下降 $0.40\text{ kg}\cdot\text{cm}^{-2}$ ,二者呈现出明显差异,并且其维持高硬度的时间较未作1-MCP处理的长2 d,贮藏第6天仍有 $10.79\text{ kg}\cdot\text{cm}^{-2}$ 的硬度,高于未作处理的第4天的硬度。在贮藏后期(第6~14天),果实硬度下降很快,1-MCP处理与否的果肉硬度下降速度比较接近,差异不明显。1-MCP处理果的硬度在整个贮藏过程中均高于未作处理的,贮藏第14天,后者果实硬度已无法测定到,而1-MCP处理的此时仍有 $3.20\text{ kg}\cdot\text{cm}^{-2}$ 的硬度。说明1-MCP能有效延缓油桃果实硬度的下降,此种效果主要表现在贮藏前期。

### 2 1-MCP对果实中果胶类物质含量和PG活性的影响

从图1和图2可见:

(1)作为果实软化的一个重要因子——PG,在油桃刚采收时活性较低,以后逐渐上升,第14天达到最大,随后迅速下降,表现出明显的“跃变”现象,其活性峰值的出现与呼吸跃变发生基本同步。1-MCP处理的PG酶活性变化与未作处理的趋势相似,但PG酶活性峰推迟2 d,峰值降低,显著低于未作处理的。在整个过程中,1-MCP处理的PG酶活性均低于未作处理的(图1)。这表明1-MCP对引起果实软化的PG酶活性有强烈的抑制作用。

(2)随着果实的后熟软化,原果胶在有关酶的

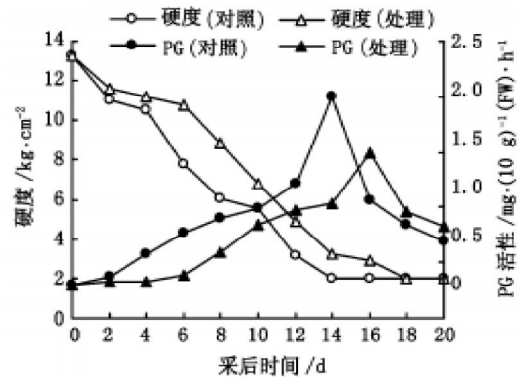


图1 1-MCP对果实硬度和PG活性的影响  
Fig.1 Effects of 1-MCP on fruit firmness and polygalacturonase activity

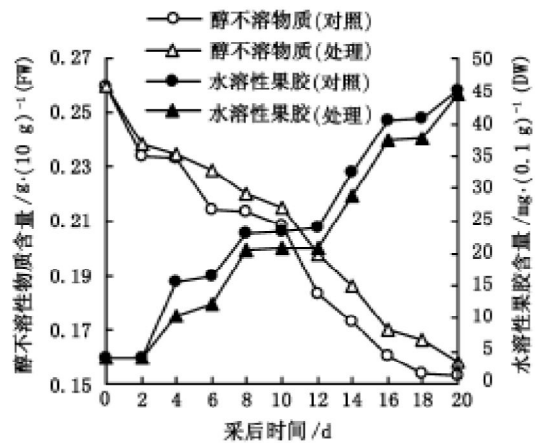


图2 1-MCP对醇不溶物质和水溶性果胶含量的影响  
Fig.2 Effects of 1-MCP on alcohol insoluble substances and water soluble pectin contents

作用下逐步被水解成可溶性果胶。油桃在采后贮藏期间,其体内的醇不溶物质不断地被降解掉(图2)。采收时,果实中的醇不溶物质含量最高,在前6 d,其下降幅度较大;此后一段时间内,其含量变化较为平稳;随着呼吸跃变的发生,其降解的幅度再次增大;到贮藏结束时已很小。1-MCP处理果的变化趋势与未作处理的相似,降解幅度略小于未作处理的,无明显差异。而果实中水溶性果胶的含量则是随着果实的软化衰老不断增加(图2)。在整个贮藏过程中,有2个明显的变化阶段,即在前8 d和第12~16天这两个时期内,水溶性果胶含量急剧上升。1-MCP并不能改变水溶性果胶变化的趋势(二者呈现相同的

变化趋势), 但能轻微降低这种变化的强度。

### 3 1-MCP对果实淀粉含量和淀粉酶活性的影响

淀粉作为细胞内含物对细胞起着支撑作用, 并维持着细胞的膨压。在果实成熟衰老过程中, 其体内的淀粉发生明显的降解。不少研究者认为, 一些水果, 特别是一些富含淀粉的水果, 其体内的淀粉降解是果实硬度下降的主要原因之一, 淀粉含量的积累与水解与果实后熟软化有相关性<sup>[1]</sup>。如图3所示, 油桃在贮藏后前10 d, 淀粉含量下降较快, 后期下降缓慢, 处理与否的淀粉含量变化趋势相同; 前10 d, 1-MCP处理的淀粉含量均高于未作处理的, 但差异不明显。由此看来, 1-MCP对油桃果实体内淀粉含量变化的影响不大。

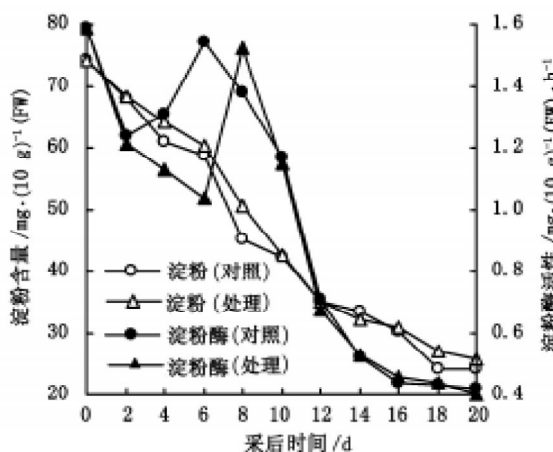


图3 1-MCP对淀粉含量和淀粉酶活性的影响

Fig. 3 Effects of 1-MCP on starch content and amylase activity

淀粉的降解是在淀粉酶的催化下完成的, 二者关系密切, 即在淀粉酶活性较高时淀粉含量下降迅速, 反之淀粉含量下降缓慢。由图3可知, 油桃采收时淀粉酶活性较高, 之后迅速下降(第2天), 然后又迅速上升, 第6天回升到与采收时接近, 随后快速下降直至贮藏结束。1-MCP处理与否的淀粉酶活性变化相似, 但在第2~6天未作处理的呈上升趋势, 而1-MCP处理的则继续缓慢下降, 到第6~8天才迅速回升, 随后两者的变化趋势相同。从时间上讲, 1-MCP处理的淀粉酶活性峰推迟2 d; 在强度上, 果实贮藏前期的淀粉酶活性稍有降低。

### 4 1-MCP对果实纤维素含量和纤维素酶活性的影响

图4显示:

(1) 在油桃软化过程中, 纤维素含量呈递减趋势, 且在果实软化的中后期(第6~16天)纤维素快速降解, 日均降幅达 $6.974 \text{ mg} \cdot (10 \text{ g})^{-1} (\text{FW})$ ; 1-MCP处理与否的纤维素含量的变化类似, 处理的下降速率略低于未作处理的, 纤维素含量均高于未作处理的。这说明1-MCP对延缓纤维素的降解, 维持细胞壁骨架的完整性有积极作用。

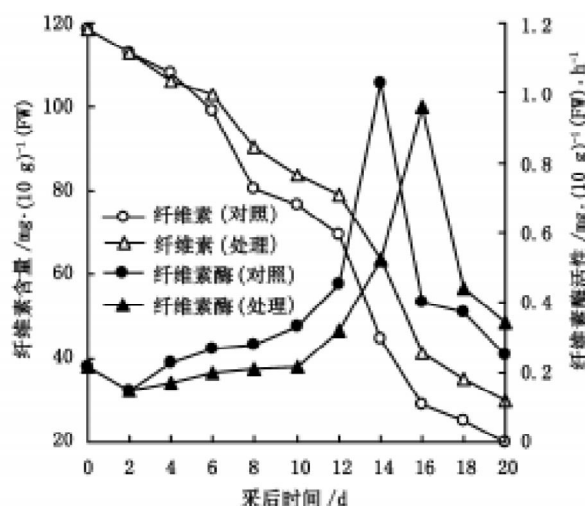


图4 1-MCP对纤维素含量和纤维素酶活性的影响

Fig. 4 Effects of 1-MCP on cellulose content and cellulase activity

(2) 纤维素酶活性采收当天较低, 10 d后有 $0.33 \text{ mg} \cdot (10 \text{ g})^{-1} (\text{FW}) \cdot \text{h}^{-1}$ 的活性; 随着呼吸高峰的到来, 酶活性显著升高, 在呼吸跃变发生时(第14天)酶活性达到最大, 随后迅速下降。1-MCP对纤维素酶活性有一定的抑制作用, 贮藏后前14 d, 处理的纤维素酶活性均低于未作处理的, 且活性峰推迟2 d, 但在贮藏结束时其活性稍高于未作处理的。1-MCP对纤维素酶活性的抑制作用可能与其对呼吸的抑制有关。

## 讨论

果实软化是分阶段进行的。果实成熟前期, 果实的软化主要是由于木聚糖的降解或纤维素微纤

丝的代谢或者是细胞间粘合力的下降,引起细胞从中间层处相互分离,淀粉酶催化淀粉水解也可能对果实前期软化起作用。果实成熟后期的软化则与PG和果胶的降解密切相关,PG主要是催化多聚半乳糖醛酸的降解。本文结果显示:油桃果实成熟衰老过程中的软化也分为两个时期,前期是淀粉酶对果实软化的作用,后期则是PG酶和纤维素酶的作用占主导地位,这与彭丽桃等<sup>[12]</sup>的结果一致。不过彭丽桃等仍认为,蔗糖酶在油桃果实前期软化也起作用。

从本文结果来看,1-MCP之所以能防止油桃果实软化与以下3种生理生化变化过程也有关系:(1)1-MCP可抑制油桃果实硬度的下降,这与Fan等<sup>[1]</sup>和丁建国等<sup>[2]</sup>在苹果、猕猴桃中的报道一致。1-MCP对油桃果实中淀粉的降解和淀粉酶活性影响不大,只是处理果实在贮藏后前8d淀粉酶活性显著受抑制,前10d淀粉含量高于未作处理的,后来二者可恢复到未作处理的水平。淀粉水解受抑制后,果肉细胞的溶质势增加减缓,细胞膨压下降,细胞膜和细胞壁的机械破坏程度下降,从而有利于果实硬度的保持。(2)1-MCP还可抑制果实贮藏中后期的纤维素降解。在贮藏后前8d,1-MCP处理的纤维素含量与未作处理的相同;但在8d之后,处理果的纤维素含量要高于未作处理的。1-MCP处理的纤维素酶活性也低于未作处理的。许多实验已经证实,纤维素酶活性降低与1-MCP抑制果实乙烯形成有关,而乙烯则被认为是可以活化纤维素酶的。(3)1-MCP对果胶的降解也有一定的抑制作用,1-MCP可抑制油桃贮藏期间醇不溶性物质的降解而促进可溶性果胶的增加,这与刘红霞等<sup>[4]</sup>在中华寿桃中的报道结果基本一致。本文结果显示,1-MCP不仅强烈抑制

贮藏过程中的PG酶活性,而且还推迟PG酶活性峰的出现,这与Jiwon等<sup>[13]</sup>在鳄梨中的报道一致。

### 参考文献

- 1 Fan X, Blankenship S, Matthesis JP. 1-MCP inhibits apple fruit ripening. *J Am Soc Hortic Sci*, 1999, 124: 690~695
- 2 丁建国, 陈昆松, 许文平等. 1-甲基环丙烯处理对美味猕猴桃果实软化的影响. *园艺学报*, 2003, 30(3): 277~280
- 3 Fan X, Argenta B, Matthesis JP. Inhibition of ethylene action by 1-MCP prolongs storage life of apricots. *Post Biol Technol*, 2000, 20:135~142
- 4 刘红霞, 姜微波, 罗云波. 1-MCP处理对采后中华寿桃品质的影响. *中国食品学报*, 2003, 3(3): 55~59
- 5 张明晶, 姜微波, 徐杏莲等. 1-甲基环丙烯对香蕉食用品质变化的影响. *食品科学*, 2002, 23(2): 126~128
- 6 孙群, 李学俊. 植物组织中糖、淀粉和纤维素含量的系统测定. 见:高俊凤主编. *植物生理学实验技术*. 西安:世界图书出版社西安分公司, 2000. 145~148
- 7 Fishman ML, Levaj B, Gillespie D et al. Changes in the physico-chemical properties of peach fruit pectin during on-tree ripening and storage. *J Am Soc Hortic Sci*, 1993, 118(3): 343~349
- 8 徐昌杰, 陈昆松, 张上隆. 蔗糖酶对外切纤维素酶和外切多聚半乳糖醛酸酶活性测定的干扰及排除. *植物生理学通讯*, 1997, 33(1): 43~46
- 9 梁小娥, 王三宝, 赵迎丽等. 枣采后果肉软化的生化和细胞超微结构变化. *园艺学报*, 1998, 25(4): 333~337
- 10 韩雅珊. 淀粉酶的测定. 见:韩雅珊主编. *食品化学实验指导*. 北京:中国农业大学出版社, 1996. 129~132
- 11 罗云波, 生吉萍, 陈昆松. 采后园艺产品成熟衰老相关酶. 见:罗云波, 蔡同一主编. *园艺产品贮藏加工学(贮藏篇)*. 北京:中国农业大学出版社, 2001. 44~45
- 12 彭丽桃, 杨书珍, 任小林等. 采后两种不同果肉类型油桃软化相关酶活性的变化. *热带亚热带植物学报*, 2002, 10(2): 171~176
- 13 Jiwon J, Donald JH, Steven A. 1-Methylcyclopropene(1-MCP) delays ripening and extends storage life of 'Simmonds' avocado fruit. *Hortsci*, 2001, 36(3): 468